Межфакультетский учебный курс

«Невидимая элементарная частица нейтрино: уникальные свойства и роль в становлении современных представлений о материи» (краткое название курса: «Удивительное нейтрино»)

«Invisible elementary particle neutrino: unique properties and its role in studies of fundamentals of matter» (a short title of the course: «An exciting neutrino»)

Аннотация

Курс посвящен нейтрино, которое занимает особое место среди многих десятков других известных в настоящее время элементарных частиц. Если взглянуть в прошлое и на настоящее Вселенной, то мы убеждаемся, что даже в сумме количество обычных частиц, из которых состоит обычное вещество – электронов, протонов и нейтронов – значительно меньше, чем количество нейтрино. Нейтрино играет важнейшую роль во многих явлениях, происходящих в окружающем нас мире. Без нейтрино невозможно объяснить:

- процессы на ранней стадии эволюции Вселенной;
- остывание звезд;
- возникновение и разнообразие химических элементов, из которых состоит все вещество;
- как работает Солнце, дающее нам энергию и делающее возможным само наше существование на Земле.

При этом, как это ни кажется парадоксальным, нейтрино крайне слабо и редко взаимодействует с другими частицами. Поэтому нейтрино могут беспрепятственно распространяться на громадные расстояния, принося с собой информацию как из недр звезд, так и из ранее недоступных и загадочных уголков нашей Вселенной.

Целью курса, который адресован всем студентам вне зависимости от факультета, является обсуждение уникальных свойств нейтрино. Будет продемонстрирована ключевая роль изучения этой частицы в становлении на протяжении последних ста лет современных представлений о структуре материи, а также для достижения в будущем более глубокого понимания устройства мира.

Физика нейтрино является в настоящее время одним из самых актуальных и быстро развивающихся разделов фундаментальной науки. Убедительным свидетельством данного факта явилось присуждение Нобелевской премии по физике в 2015 году с формулировкой «за открытие осцилляций нейтрино». Осцилляции нейтрино являются новым удивительным явлением, которое также подробно обсуждается в данном курсе.

Программа курса

1. Предыстория современной физики – электромагнитные волны и уравнения Максвелла (1865 год).
2. Первые элементарные частицы – фотон (В. Паули, 1900 год и А.Эйнштейн, 1905 год) и электрон (Дж.Дж. Томпсон, 1907 год). Становление квантовой механики (первая четверть XX века).
3. Проблема радиоактивного распада ядер и предсказание В. Паули существования нейтрино (1930 год).
4. Открытие нейтрона (Дж. Чедвик, 1932 год).
5. Теория слабых взаимодействий Э. Ферми (бета-распад нейтрона) и роль нейтрино (1933 год).
6. Охлаждение нейтронных звезд – «урка-процессы» Гамова-Шёнберга и роль нейтрино (1940 год).
7. Потоки нейтрино от земных и астрофизических источников.
8. Реликтовые нейтрино в модели горячей Вселенной (Дж. Гамов, 1940 год).
9. Предсказание Б.М. Понтекорво о принципиальной возможности экспериментального наблюдения «неуловимых» нейтрино от Солнца и ядерных реакторов (1946 год).
10. Экспериментальное открытие существования нейтрино (Ф. Райнес и К. Коуэн, 1956 год).
11. Экспериментальное открытие несохранения пространственной четности в слабых взаимодействиях (опыты Ц.-С. Ву, 1957 год) и роль нейтрино (теория Л.Д. Ландау и Ли-Янга-Салама, 1957 год).
12. Предсказание смешивания и осцилляций нейтрино как эффект ненулевой массы частицы (Б.М. Понтекорво, 1957 год).
13. Экспериментальное открытие нейтрино второго и третьего типа - мюонного и тау-нейтрино (Л. Ледерман, М. Шварц и Дж. Стейнбергер, 1962 и 2000 годы).
14. Теория слабых взаимодействий Фейнмана-Гелл-Манна и Маршака-Сударшана (1958 год) и роль нейтрино.
15. Современная Стандартная модель взаимодействий частиц (Вайнберг-Салам-Глешоу, 1965 год) и роль нейтрино.
16. Открытие бозона Хиггса на Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе (2012 год) – триумф Стандартной модели взаимодействия частиц.
17. Стандартная солнечная модель (Дж. Бакал) и подавление потока нейтрино от Солнца («проблема солнечных нейтрино») (Р. Дэвис, 1965 год).
18. Подавление потока нейтрино от верхних слоев атмосферы («проблема атмосферных нейтрино»).
19. Осцилляции и смешивание нейтрино различных типов – предсказание физики за пределами Стандартной модели.
20. Решение проблемы солнечных и атмосферных нейтрино на основе нейтринных осцилляций.
21. Нобелевская премия по физике 2015 года «за открытие осцилляций нейтрино» (А.Макдональд и Т. Каджита).
22. Принципы детектирования нейтрино от различных источников (солнечные, атмосферные, реакторные, ускорительные и астрофизические потоки нейтрино) и важнейшие нейтринные экспериментальные установки.
23. Использование современных промышленных атомных реакторов для изучения фундаментальных свойств нейтрино.
24. Нейтрино и безопасность атомной энергетики и будущие нейтринные технологии.
25. Современная физика нейтрино как «окно в новую физику».

Вопросы к зачету по курсу

1. Что такое нейтрино?
2. История открытия нейтрино, гипотеза В. Паули.
3. Ядерный бета-распад и теория слабых взаимодействий Ферми.
4. Основные свойства нейтрино.
5. Существование различных типов нейтрино и их взаимодействия с другими частицами.
6. Что известно о величине массы нейтрино?
7. Экспериментальное открытие существования нейтрино (эксперименты Р.Дэвиса).
8. Несохранение пространственной четности в слабых взаимодействиях.
9. Стандартная модель взаимодействия элементарных частиц.
10. Нейтринный механизм остывания звезд.
11. Нейтрино в космологии, реликтовые нейтрино.
12. Нейтрино от сверхновых.
13. Механизм генерации нейтрино в Солнце, стандартная солнечная модель, «проблема солнечных нейтрино».
14. «Проблема атмосферных нейтрино».
15. Смешивание и осцилляции нейтрино.
16. Принципы регистрации нейтринных потоков (солнечные, атмосферные, реакторные и ускорительные нейтрино).
17. Важнейшие эксперименты по регистрации нейтрино.
18. Нейтрино и безопасность атомной энергетики, будущие нейтринные технологии.
19. Свойства нейтрино и выход за пределы Стандартной модели взаимодействия элементарных частиц.
20. Определяющая роль Б.М. Понтекорво в развитии исследований свойств нейтрино.